植保會刊 27 : 317～324 (1985)
Plant Prot. Bull. (Taiwan, R.O.C.) 27 : 317～324 (1985)

豌豆萎凋及根腐病菌在水稻田裡之生態[1]

汪 碧 涵　林 益 昇

臺灣省農業試驗所植物病理系

(接受日期：民國 74 年 7 月 14 日)

摘　　要

本文報告豌豆萎凋及根腐病菌在水稻田裡之分佈、族群消長、存活、及主要感染源。該二病菌在土壤中之垂直分佈，主要分佈於耕犁層 (0～25 cm)，並未在其下之壓成磐 (26～30 cm) 出現，但是可在壓成磐下方至 40 cm 處，偵測得若干病原菌。根腐病菌之水平分佈較為平均，萎凋病菌則聚集成簇。耕犁層病菌之密度隨兩期稻作而下降，終至不能測得，直到豌豆栽種後，其族群密度再慢慢回升。相反的，溫室及田間調查顯示，若輪作物為旱地甘藍菜則土壤中病原菌密度變化不大，皆維持高密度。田間水稻及若干雜草的根部皆能携帶該二病菌，但數量極少，並非水稻田中豌豆萎凋病及根腐病之主要感染源。分析採自各地種子行或病株的種子樣品，其帶菌率差異極大，有些樣品可引起高達 30% 之發病率，故種子帶菌似乎是若干水稻—豌豆輪作田裡萎凋病及根腐病嚴重發生之重要感染源。

(關鍵字：豌豆萎凋病，*Fusarium oxysporum* f. sp. *pisi*，豌豆根腐病，*Fusarium solani* f. sp. *pisi*，水稻輪作，種子帶菌。)

ABSTRACT

Wang, Pie-han and Yi-sheng Lin (1985). **Ecology of Pea Wilt and Root Rot Pathogens in Drained Paddy Field.** Plant Prot. Bull. (Taiwan, R. O. C.) 27: 317～324 (Department of Plant Pathology, Taiwan Agricultural Research Institute, Taichung, Taiwan, R. O. C.)

This paper reports the distribution, population fluctuation, survival and important inoculum sources of *Fusarium oxysporum* f. sp. *pisi* (FOP) and *F. solani* f. sp. *pisi* (FSP) in a rice-rice-pea rotation field. Both FOP and FSP were found mostly in the soil of tillage layer (0-25 cm) and absent in the soil

1. 本文為第一作者，前東海大學生物學研究所研究生，碩士論文之一部份。
Portion of a M. S. thesis submitted by the first author to the Graduate Institute of Biology, Tunghai University, Taiwan, Republic of China.

of pressure pan layer (26-30 cm), but some propagules were detected in the soil below the pan down to 40 cm. The distribution of FOP in the tillage layer was uneven while FSP was more uniform after pea crop. A one-year rotation with paddy rice showed that flooding was effective to reduce both FOP and FSP in tillage layer, especially FOP was below the level of detection. However, the field was recolonized with the pathogens after growing pea plants. In contrast, the greenhouse experiments and the survey of fields rotated with cabbage revealed that both FOP and FSP maintained high densities in the soil all year round. Field survey also indicated that the root tissues of rice plants and some weeds in the paddy field could carry small amount of FOP and FSP, but they were not the main inoculum sources for pea diseases. Pea seeds obtained from market stores or diseased plants could also carry the pathogens which might produce 30% of diseases in greenhouse. Therefore, infested seeds may be the most important inoculum source for pea wilt and root rot in paddy field.

(Key words: pea fusarium wilt; *Fusarium oxysporum* f. sp. *pisi*; pea root rot; *Fusarium solani* f. sp. *pisi*; paddy rice; seedborne pathogens.)

緒 言

近年來，本省豌豆栽培面積約 6,000~8,000 公頃[4]，主要與水稻輪作，少數與甘藍或其他旱地蔬菜輪作[2]，皆受萎凋病（由 *Fusarium oxysporum* f. sp. *pisi* Snyd. & Hans. 所引起）及根腐病（由 *F. solani* f. sp. *pisi* Snyd. & Hans. 所引起）的威脅[10]。水稻輪作制度是臺灣地區的特殊生態環境，由於每期稻作約有 40 天以上的淹水期，淹水處理會造成土壤的嫌氣狀態及產生毒素[7]，不利於病菌之存活。例如淹水促使 *F. oxysporum* f. sp. *cubense*[3,15] *Verticillium dahliae*[6] 及 *F. oxysporum* f. sp. *vasinfectum*[7] 等病菌之族群密度下降，雖然再植感病作物，病原菌的族群密度又會恢復，但至少可以保護一季的作物，因此被認爲可短期防治土壤傳染性病害。事實上，經輪作水稻的豌豆田，其萎凋及根腐病雖大都被抑制，但依然有嚴重發生的例子，甚至相隣之田，一者發病嚴重，一者發病輕微。檢定其土壤均屬導病型，也沒有污染公害，蟲害或其他因素。其生態學的問題仍未明瞭。本文即報告該二病菌在田間族群之分佈、消長、存活及感染源之來源。

材 料 與 方 法

一、供試菌來源及病土調製

臺灣省農業試驗所土壤傳染性植物病害研究室提供分離自田間病株之豌豆萎凋病菌（*F. oxysporum* f. sp. *pisi*）豌豆根腐病菌（*F. solani* f. sp. *pisi*）菌株各一，代號分別爲 FOP-73 及 FSP-6[10]。

將供試菌株培養於玉米培養基（河砂 100 g；玉米粉 3 g；蒸餾水 15 ml）上，置實驗室中（22~28°C），經二週，倒出與不含病原菌之處女土（砂質壤土）均勻混合調成各種含菌量之病土。土壤中病菌濃度以 PCNB 培養基[12]測定之。

二、病原菌之存活試驗

在溫室裡將含有萎凋病菌（5×10^5 propagules/g soil）或根腐病菌（7×10^4 propagules/g soil）之病土，分別裝入木箱中，應用自動給水裝置[1]，調節土壤含水量爲 5%、10%、15%，或淹水狀態等，或者分別裝入六吋素燒盆中，栽種水稻或甘藍與豌豆輪作，另以淹水處理爲對照，每月定期測定各土樣之病菌濃度。

三、病原菌之分佈與消長

選定彰化縣溪湖鎮魏天送農友之水稻一水稻一豌豆輪作田（0.3 公頃）進行試驗。依對角線，逢機採取 5~15 cm 深度之44個土樣，

攜回實驗室測定各土樣之病原濃度。然後依所得結果計算其變異係數(coefficient of variation)。取變異係數 20% 以下之土樣數量(sample size),如圖四所示,決定以 15 個土樣數量代表該試驗田。自 1981 年 4 月至 1983 年 3 月期間,每月定期依試驗田的對角線逢機採取 15 個土樣(土深 5～15 cm),攜回實驗室,分離記錄豌豆萎凋病菌與根腐病菌之濃度,調查族群之消長及其水平分佈。並使用土壤採樣器,逢機採取 0～150 cm 深度的土樣,攜回實驗室,測定各層深度之土壤容積密度(bulk density),質地(texture)及含水量,並分離記錄該二病菌之濃度,調查其垂直分佈。

四、病原菌存活場所之調查

每月定期採取試驗田土樣之同時,亦採取水稻、雜草及豌豆等之根部,攜回實驗室,經水洗及1.05%次氯酸鈉溶液表面消毒 1 分鐘後,以 PCNB 選擇性培養基[12]分離病原菌。又自臺中、和美、秀水、溪湖及埔鹽等地之豌豆田,採取罹病植株上之成熟豆莢,在實驗室中剝殼、陰乾,並從各地種子行收集豌豆種子樣品,分別以下列方式測試帶菌率: 1. 取供試種子 5 粒,直接放在水瓊脂(2%)、PCNB 或 modified Czapex-Dox 培養基[8]上分離病原菌,各 10 重複; 2. 種子經無菌水浸泡一夜,以無菌手續將種皮與子葉分開,分別在研缽裡磨碎,再以 PCNB 培養基分離病原菌; 3. 取供試種子 10 粒,種在高壓殺菌土(121°C,90 min)中,各 6 重複,在溫室內維持 20～28°C,每週澆以 Hoaglund's solution 一次,觀察發病情形,並於八週後挖出植株,重新分離病原菌[14]。

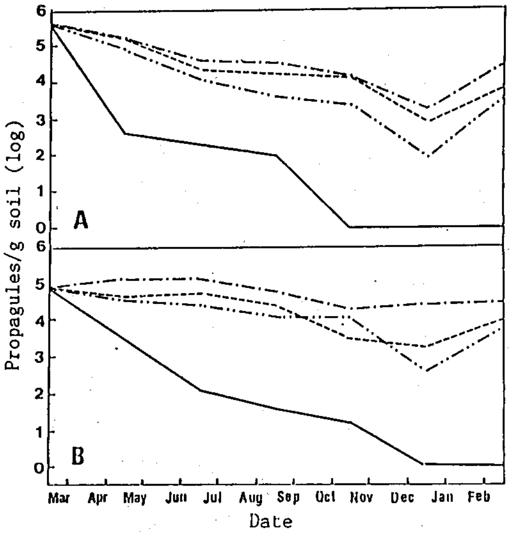
結　　果

一、土壤含水量對病原菌存活之影響

豌豆萎凋及根腐病菌在 5%、10%或 15% 含水量的土壤中,病原菌密度均逐漸下降,沒有顯著差異。但是在淹水處理中,病原密度銳減,兩個月後使得萎凋及根腐病菌的密度,分別降至原有密度的 0.8%及 0.1%;八個月至十個月後,則分別降至無法測得之程度(圖一)。

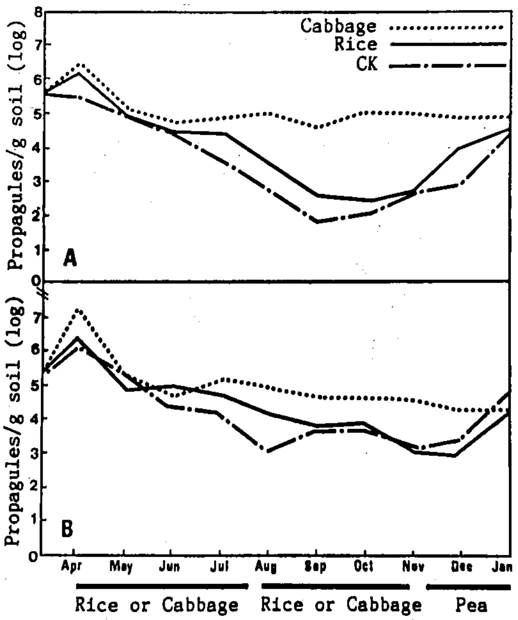
二、輪作作物對病原菌存活之影響

溫室盆栽試驗模擬本省豌豆與水稻或旱地蔬菜之輪作制度,結果(圖二)顯示:萎凋病及根腐病菌先因作物的栽種,族群密度略爲增加,爾後下降。輪作甘藍者病原密度始終維持在 10^4—10^5 propagules/g soil 左右,保持極高的感染潛勢,使隨後栽種的豌豆嚴重罹病;而輪作水稻或僅淹水對照處理,其病原族群



圖一、土壤含水量對豌豆萎凋病菌(A)及根腐病菌(B)存活的影響。

Fig. 1. Survival of *Fusarium oxysporum* f. sp. *pisi* (A) and *F. solani* f. sp. *pisi* (B) in soils with different moisture content: —·—·—·—, 5%; ··············, 10%; ——··——··——15%; and, ——————flooding.



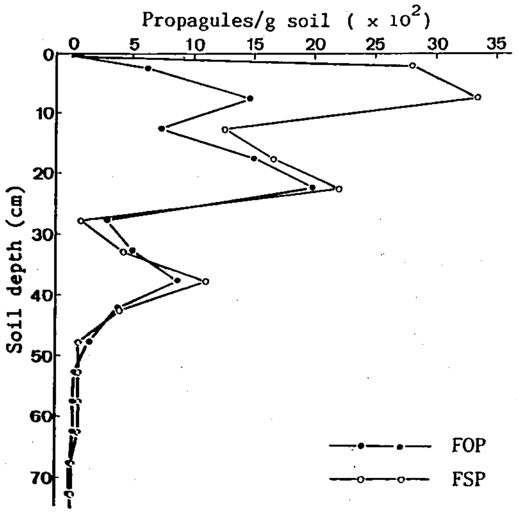
圖二、種植甘藍與水稻對土壤中豌豆萎凋病菌（A）及根腐病菌（B）族群之影響。

Fig. 2. Population of *Fusarium oxysporum* f. sp. *pisi* (A) and *F. solani* f. sp. *pisi* (B) from infested soils planted with rice, cabbage or check (no crop, flooded as rice treatment) in greenhouse.

繼續下降，尤以萎凋病菌下降顯著，使得隨後栽種的豌豆發病輕微。豌豆種植後，土壤中病原菌的族群密度又逐漸回升。

三、病原菌之分佈與消長

豌豆萎凋病菌與根腐病菌在經水稻輪作之豌豆田中的垂直分佈，以25 cm 深度內之耕犁層（tillage layer）病原密度最高，但在 11-15 cm 之處，病原密度稍降。在耕犁層下方



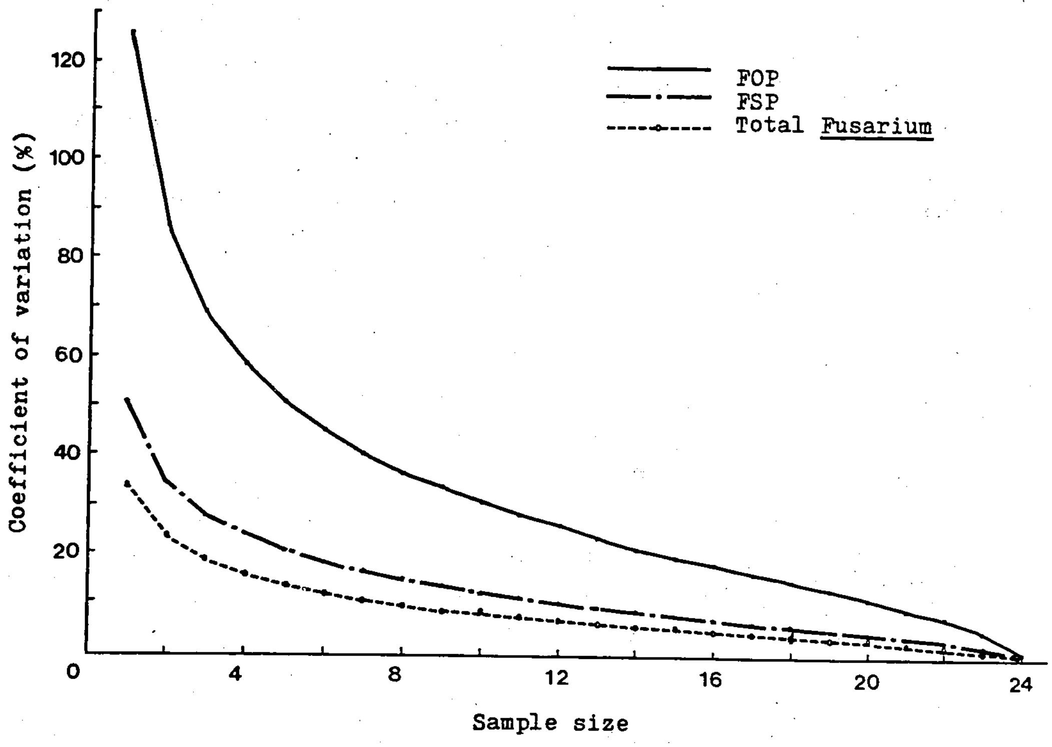
圖三、豌豆萎凋及根腐病菌在輪作水稻之豌豆田土壤中的垂直分佈。

Fig. 3. Vertical distribution of *Fusarium oxysporum* f. sp. *pisi* (FOP), and *F. solani* f. sp. *pisi* (FSP) at different depths of soil in a pea field where rice was the alternated crop for many years.

表一、輪作水稻之豌豆田中各深度土壤之容積密度，含水量及土壤質地

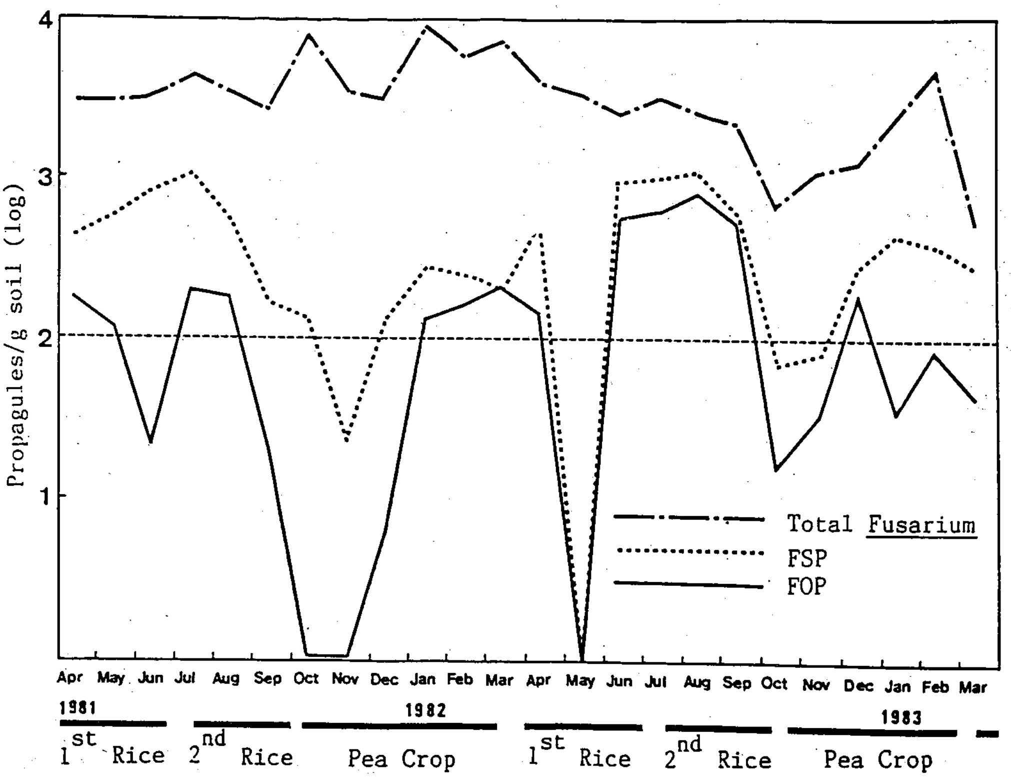
Table 1. Bulk density, water content and soil texture at different depths of soil in a pea field where rice was the alternated crop for many years

Soil depth(cm)	Bulk density (g/cm^3)	Water content (%)	Soil texture
0-5	1.11	30.0	clay loam
6-10	1.22	30.0	clay loam
11-15	1.48	18.7	clay loam sandy loam
16-20	1.37	20.5	sandy loam
21-25	1.40	20.0	sandy loam
26-30	1.57	19.5	sandy loam
31-35	1.35	21.2	sandy loam
36-40	1.41	14.8	sand
41-45	1.33	14.9	sand



圖四、土樣數量與豌豆萎凋及根腐病菌密度之變異係數的關係。

Fig. 4. Relationship between the sample size and variation coefficient of mean density of *Fusarium oxysporum* f. sp. *pisi* (FOP), *F. solani* f. sp. *pisi* (FSP), or total *Fusarium* spp. in soil.



圖五、豌豆萎凋及根腐病菌在水稻一豌豆輪作田中之族群消長。

Fig. 5. Population fluctuation of *Fusarium oxysporum* f. sp. *pisi* (FOP), *F. solani* f. sp. *pisi* (FSP) and total *Fusarium* spp. in a rice-rice-pea rotation field.

26～30 cm深度之壓成磐(pressure pan layer) 及50 cm深度以下皆鮮有病原菌存在，但是壓成磐下方31～40 cm之處，又可偵測到少量的病原菌（圖三）。各層土壤之容積密度則以11—15 cm 及 26～30 cm 處特別高，分別達到1.48 及 1.57g/cm^3（表一）。該二病原菌在耕犁層中之水平分佈，由比較變異係數曲線(圖四) 得知：萎凋病在土壤中的族群密度變異性較根腐病菌大，亦即前者之水平分佈較後者不均勻。

萎凋及根腐病病菌在水稻一水稻一豌豆輪作田之耕犁層中呈週期性的消長（圖五），與田間作物相有密切的關係，每期稻作之淹水處理，均使病原族群密度大幅下降，甚至降到無法測得的程度，直到栽種豌豆後，病原菌的密度再度上昇，萎凋病菌所受的影響較根腐病菌大。

四、病原菌存活場所之調查

分離水稻及田間雜草包括：龍葵(*Solanum nigrum* L.)，山芹菜(*Rorippa indica* Hiern)，稗 (*Echinochloa crus-galli*)，雀稗 (*Paspalum* spp.)，鱧腸 (*Edipa protrata* (L.)L.)，山芹菜 (*Oenanthe javanica*(Bl.) DC.)，野塘蒿 (*Erigerm sumatrensis* Retz.)，小葉灰藋 (*Chenopodium serotinum* L.)，節花路蓼 (*Polygonum plebeium* R. Br.)，鵝兒腸 (*Stellaria aquatica* (L.) Scop.) 泥胡菜 (*Hemistepta lyrata* Bunge)，鼠麴草 (*Gnaphalium luteo-album* L. subsp. *attine* (D. Don) Koster)，牛筋草 (*Eleusine indica* (L.) Gaertn.) 等，其中稗、雀稗、節花路蓼、小葉灰藋、龍葵、山芥菜與水稻的根部發現携有豌豆萎凋及根腐病菌，但是出現頻度不高。

種子帶菌率的分離調查顯示，各種種子樣品均可在磨碎的種皮及子葉測得病原菌，但不易定量。又在各種培養基上直接分離病原菌亦有困難，因爲豌豆種子本身就是一種培養基，

表二、豌豆種子携帶萎凋病菌及根腐病菌的百分率與温室內發病的關係

Table 2. Frequency of *Fusarium oxysporum* f. sp. *pisi* (FOP) and *F. solani* f. sp. *pisi* (FSP) isolated on modified Czapex-Dox medium from pea seeds and the incidence of wilt and root rot in greenhouse

Source of pea seed	Sample	Frequency (%)		Disease incidence (%)	
		FOP	FSP	Wilt	Root rot
Seed store	1	0	0	0	0
	2	4	6	8	0
	3	0	0	5	0
	4	0	0	18	0
	5	12	6	3	0
Diseased plant	6	16	12	3	0
	7	0	0	12	0
	8	8	6	25	0
	9	8	12	28	30
	10	8	6	27	10

許多雜菌快速長出而掩蓋病原菌，甚至無法獲得病原菌。將種子種植在消毒土中之生物檢定的結果顯示，萎凋病發病較嚴重，根腐病却較輕微。因之，各種測試方法僅能做參考比較，茲將生物檢定及直接分離的結果列於表二。由罹病植株所採集的豌豆種子，在 modified Czapex-Dox 培養基分離之萎凋病菌與根腐病菌的分離率介於 0～16%之間；温室中以生物檢定法測得之發病率可達 28～30%；從彰化地區種子行收集的樣品中，也帶有病原菌，萎凋病與根腐病菌帶菌率分別爲 0～12%與 0～6%，温室裡萎凋病的發病率可達 18%，根腐病則未測得（表二）。

討　論

Fusarium oxysporum f. sp. *pisi* 與 *F. solani* f. sp. *pisi* 俱是頑強的土棲菌，以厚膜孢子爲主要感染源在土中存活[13]。它們亦可在一些抗病寄主[9,13,16]或非感病性植物[5]上繁殖，維持族群密度或減緩降低的趨勢。温室試驗及田間調查結果顯示，輪作甘藍時，該二病原菌的族群密度居高不下，無法控制豌豆萎凋及根腐病（圖二），但輪作水稻可使病原密度大幅下降（圖五），使隨後栽培的豌豆的病害大爲減少。

本省豌豆栽培大都與水稻輪作，該二病原菌在土中的行爲頗受淹水的影響。它們在土中垂直分佈，以微生物活動最頻繁的耕犁層（0～25 cm）有最高的病原菌密度，由於水田整田時的操作（puddling），使部份土壤粘粒逐漸沈積於11～15 cm之處，土壤容積密度略增至 1.48 g/cm^3（表一），孔隙變小，空氣流動受阻，淹水後該處土壤的氧化還原電位（Redox potential）下降，其嫌氧狀態不利病原菌之存活，因之，病原密度偏低（圖三）。又耕犁層下方的壓成磐（pressure pan）(26～30 cm）土壤容積密度更高達 1.57 g/cm^3（表一），乃受耕犁操作的機械作用壓實形成，不但含水量降低，也阻擋排水[11]，容易造成嫌氧狀態，使病原菌密度銳減[7]（圖三）。壓成磐下方（30～40 cm）土壤密度與含水量皆低（表一），排水良好，病原菌不受淹水的影響，具有存活的功能。在耕犁層中，病原菌的水平分佈與消長分別受耕犁與淹水的影響，淹水處理使土壤顆粒中的病原菌族群密度呈週期性的起伏，經過兩期水稻輪作，其族群密度降到無法測得的程度，使裡作豌豆不致嚴重被害。當豌豆種植後，土壤中的病原密度又逐漸回

升，由於裡作豌豆採不整田糊仔栽培，壓成磐未被破壞，病原菌極少可能來自壓成磐下方存活的病原菌族群。其來源可能是水稻及雜草根部所攜帶或土壤顆粒中殘存的病原菌。然而為何有些水稻輪作田的豌豆仍遭該二病原嚴重為害？試驗結果(表二)顯示：若干豌豆種子樣品攜帶病原菌，可傳播高達30%的發病率，會抵消輪作水稻的防治效果，似乎是重要感染源[14]，是故種子保護措施成為刻不容緩的重要課題。

謝 辭

本研究承蒙前農業發展委員會經費補助（73農建4.1-產-71）。試驗進行中，承臺灣省農業試驗所劉清博士協助統計、分析，謹此誌謝。

引 用 文 獻

1. 陳清義。1963。植物吸水特性之研究。農林學報第九、十輯，pp. 126-144.
2. 郭俊毅、林信山。1971。新豌豆品種—臺中11號。臺灣農業 17(2):31-55。
3. 黃新川、蘇鴻基。1978。臺灣香蕉黃葉病發生生態及其防治試驗。中華植物保護學會會刊 20(4):8 (1978年年會論文宣讀摘要）。
4. 臺灣農業年報 pp. 222, 1981. 臺灣省政府農林廳編印。
5. Armstrong, G. M., and J. K. Armstrong. 1948. Nonsusceptible hosts as carriers of wilt Fusaria. Phytopathology 38:808-826.
6. Butterfield, E. J., J. E. De Vay and R. H. Garber. 1978. The influence of several crop sequences on the incidence of verticillium wilt of cotton and on the population of *Verticillium dahliae* in field soil. Phytopathology 68:1217-1220.
7. Cook, R. J., and K. F. Baker. 1983. The Nature and Practice of Biological Control of Plant Pathogens. Amer. Phytopathol. Soc., St. Paul, Minnesota. 539p.
8. Haware, M. P., Y. L. Nene and R. Rajeshwari. 1978. Eradication of *Fusarium oxysporum* f. sp. *ciceri* transmitted in chickpea seed. Phytopathology 68:1364-1367.
9. Kraft, J. M., F. J. Muehlbauer, R. J. Cook and F. M. Entemann. 1974 The reappearance of common wilt of peas in eastern Washington. Pl. Dis. Rept. 58(1):62-64.
10. Lin, Y. S., W. Sun and P. H. Wong. 1984. Fusarium root rot and wilt of garden peas in Taiwan. Jour. Agric. Res. China (Taiwan, R. O. C.) 33(4): 395-405.
11. Moormann, F. R., and N. van Breemen. 1978. Rice: Soil, Water, Land. International Rice Research Institute. Los Baños, Philippines. 185p.
12. Nash, S. M., and W. C. Snyder. 1962. Quantitative estimation by plate counts of the bean root rot Fusarium in field soils. Phytopathology 52:567-572.
13. Nelson, P. E., T. A. Toussoun and R. J. Cook (eds.) 1981. Fusarium: Disease, Biology, and Taxonomy. Penn. State Univ., University Park, PA. 457p.
14. Snyder, W. C. 1932. Seed dissemination on Fusarium wilt of pea. Phytopathology 22:243-257.
15. Stover, R. H., N. C. Thornton and V. C. Dunlap. 1953. Flood-fallowing for eradication of *Fusarium oxysporum* f. *cubense*: I. Effect of flooding on fungus flora of clay loam soils in Ulua valley, Honduras. Soil Sci. 76: 225-238.
16. Whalley, W. M., and G. S. Taylor. 1976. Germination of chlamydopsores of physiologic races to susceptible and resistant pea cultivars. Trans. Brit. mycol. Soc. 66(1):7-13.